



IPEF: FILOSOFIA DE TRABALHO DE UMA ELITE DE EMPRESAS FLORESTAIS BRASILEIRAS

ISSN 0100-3453

CIRCULAR TÉCNICA Nº 172

FEVEREIRO 1990

## **ESTABILIDADE FENOTÍPICA EM ESPÉCIES FLORESTAIS**

Antônio Cláudio Davide\*

A interação de genótipos por ambientes pode ser manifestada de duas maneiras: pela classificação diferenciada dos genótipos quando testados em vários ambientes, e pelas diferenças na superioridade relativa entre genótipos em vários locais, quando a classificação permanece a mesma. A primeira forma exige a seleção de genótipos especialistas, enquanto que o segundo caso requer a seleção de genótipos para uso geral.

Revisões sobre interação genótipo x ambiente dentro do melhoramento florestal são abundantes e entre muitos trabalhos podemos citar: (SQUILACE, 1970; SHELBOURNE, 1972; SHELBOURNE & CAMPBELL, 1976; MORGENSTERN, 1982; BARNES et alii, 1984; FALKENHAGEN, 1985; PATIÑO-VALERA, 1986).

No campo florestal, a seleção de genótipos com maior estabilidade fenotípica tem recebido pouca atenção até agora.

A contribuição de um genótipo para a interação depende de sua estabilidade fenotípica relativa à estabilidade fenotípica da média de todos os genótipos testados. Materiais genéticos que se apresentam mais ou menos estáveis que a média contribuem mais para a interação, enquanto que materiais genéticos com estabilidade média contribuem menos.

Segundo a interpretação de OWINO (1977), os métodos de estabilidade dividem-se em três grupos:

a) Os métodos baseados na determinação da contribuição de um genótipo para a magnitude da soma de quadrados da interação genótipo x ambiente na análise de variância. Neste grupo estão incluídos os métodos de Plaisted, onde os genótipos são retirados um a um da análise da variância, e sua contribuição para a interação é proporcional à redução da

---

\* Engenheiro Florestal - IPEF

variância da interação. Um método similar foi desenvolvido por Wriche, que estima o que ele denominou de ecovalência. O material genético mais estável é aquele com menor contribuição, para a estimativa para a ecovalência, ou em outras palavras, é o genótipo com menor contribuição para a interação genótipo x ambientes.

b) São os métodos baseados na análise de regressão. Essa técnica foi proposta pela 1ª vez por YATES & COCHRAN (1938) mas recebeu pouca atenção até o seu desenvolvimento por FINLAY & WILKINSON (1963). Uma técnica similar foi desenvolvida em 1966 por EBERHART & RUSSEL, que propunha um segundo parâmetro de estabilidade – o desvio da regressão linear.

Posteriormente ao trabalho de OWINO (1977), outros métodos baseados na análise de regressão surgiram como os de VERMA et alii (1978); SILVA & BARRETO (1985) que posteriormente foi modificado por CRUZ et alii (1988), que serão comentados posteriormente com mais detalhes.

c) O terceiro grupo de técnica de análise de estabilidade envolve uma extensão do conceito de análise de regressão. Tal usou análise estrutural para calcular um par de parâmetros de estabilidade, com o objetivo de evitar os efeitos da covariância que existe quando se faz análise e regressão de um genótipo com o índice ambiental do qual ele faz parte.

Entre os vários trabalhos que utilizam esses métodos existe uma certa confusão na interpretação dos conceitos de estabilidade. LIN et alii (1986) fizeram uma análise conceitual de nove métodos de estabilidade e separaram basicamente três conceitos:

TIPO 1: O genótipo será considerado estável se sua variância entre ambientes for pequena.

TIPO 2: O genótipo será considerado estável se sua resposta ao ambiente é paralela ao desempenho médio de todos os materiais genéticos avaliados no teste.

TIPO 3: O genótipo será estável se o quadro médio dos desvios da regressão que avalia a estabilidade for pequeno.

BECKER (1981), denominou o tipo 1 de “estabilidade no sentido biológico” o que caracteriza um genótipo com desempenho constante com a variação do ambiente. Esse comportamento não é desejável porque o genótipo não acompanha a melhoria ambiental e normalmente a estabilidade tem alto grau de associação com baixa produtividade. Esse conceito poderia ser utilizado quando a variação ambiental é restrita.

A estabilidade do tipo 2 é denominada por BECKER (1981), “estabilidade no sentido agrônômico” e ocorre quando o material genético mostra interações mínimas com o ambiente. Ou seja, o material genético acompanha o desempenho médio dos materiais testados nos ambientes. Essa metodologia tem sido preferida porque possibilita a identificação de genótipos estáveis e com potencial de se manter entre as melhores em todos os ambientes. LIN et alii (1986), salientam que este tipo de estabilidade é uma medida restrita e relativa ao grupo de genótipos que foram avaliados, não podendo ser generalizada. Isso quer dizer que um genótipo estável em determinado grupo, não necessariamente o será na presença de outros materiais.

No desenvolvimento do método de FINLAY & WILKINSON (1963), foi introduzido o conceito de índice ambiental, que é função da média de todos os genótipos em cada ambiente. Essa técnica está baseada numa análise de regressão linear simples, onde o índice ambiental é a variável independente e a produção média de cada genótipo é a variável dependente. A estabilidade de um genótipo é dada em função do seu coeficiente de regressão ( $b_i$ ) e da sua produção média ( $Y_1$ ). Observe na Figura 1, que se adotarmos o

conceito de estabilidade do “tipo 1” (conceito biológico), será mais estável o material genético que possuir  $b_i = 0$ . Por outro lado, se o conceito utilizado for o do “tipo 2” (conceito agrônomico) a estabilidade do material irá ocorrer com  $b_i = 1,0$ .

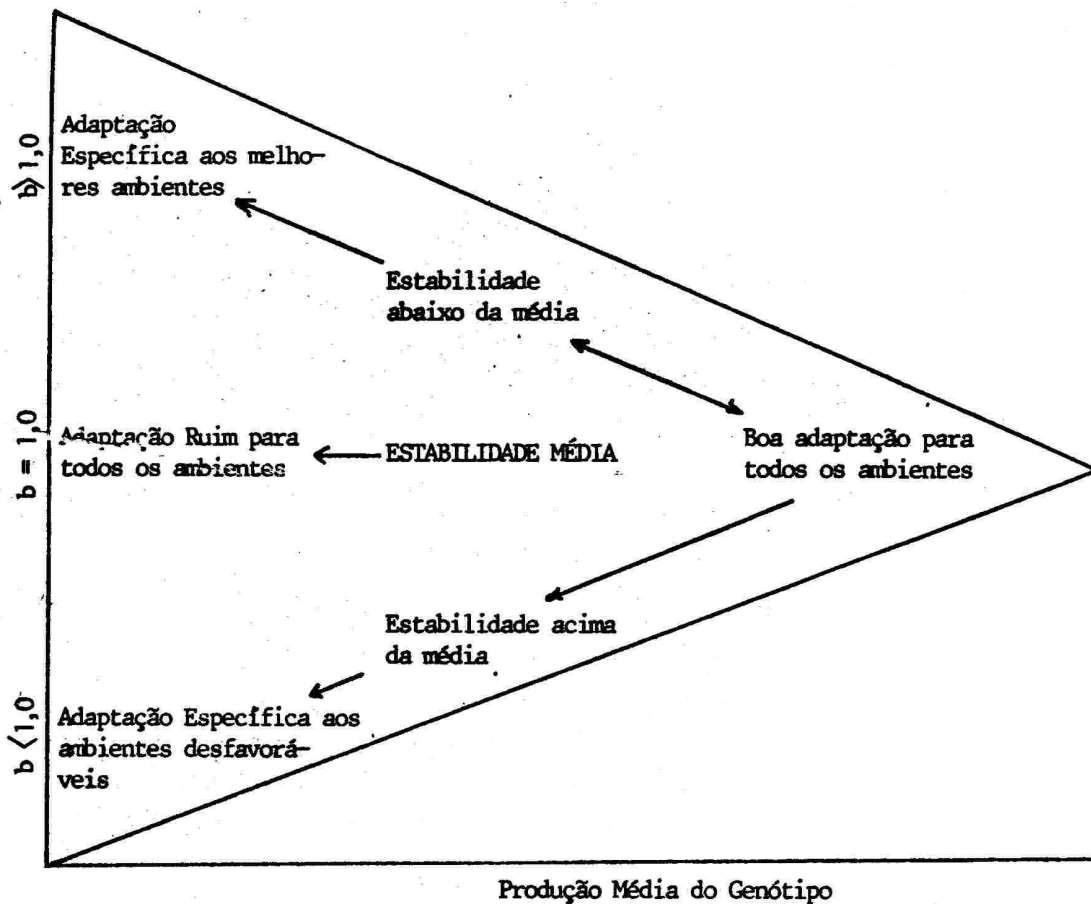


FIGURA 1 – Caracterização dos genótipos quanto à estabilidade baseada na produção média e no coeficiente de regressão linear, conforme FINLAY & WILKINSON (1963).

De acordo com os autores, se  $b_i = 1,0$ , o genótipo apresenta estabilidade média (tipo 2), porém terá baixa ou alta adaptabilidade se sua produtividade for baixa ou alta, respectivamente. Quando  $b_i > 1,0$  o genótipo terá baixa estabilidade e apresentará adaptação específica aos melhores ambientes. Pode-se dizer também que o genótipo é responsivo. Coeficientes de regressão abaixo de 1,0 ( $b_i < 1,0$ ) indicam estabilidade acima da média e com capacidade de adaptação específica aos piores ambientes (genótipo não responsivo). Genótipos com  $b_i = 0$  apresentam estabilidade absoluta (tipo 1) e só seriam desejáveis se apresentassem máxima produtividade.

A estabilidade do tipo 3 é aquela em que o genótipo será considerado estável quando o quadrado médio do desvio da regressão for pequeno. Esse tipo de estabilidade pode ser avaliada através da técnica de EBERHART & RUSSEL (1966), que é a mais utilizada.

Essa técnica se aproxima à de FINLAY & WILCKINSON (1963) diferindo basicamente pela não transformação dos dados e pela estimação dos desvios de regressão. Um genótipo ideal segundo essa técnica seria aquele com produção média alta, coeficientes de regressão iguais a 1,0 e com desvio de regressão próximo a zero, ou seja, seria um

genótipo responsivo à melhoria das condições ambientais ( $b_i = 1,0$ ) e de comportamento altamente previsível  $V_{di} = 0,0$  (conceito de estabilidade agrônômica).

JAYASEKERA (1983) salientou que a utilização dos métodos de análise de estabilidade baseadas na análise de regressão só é possível se a resposta do material genético à variação ambiental for linear. Na presença da resposta não linear significativo para a interação, o autor sugere um parâmetro de estabilidade que leve em conta tanto a porção linear como a não linear do componente da interação genótipo x ambiente.

Como muitos genótipos não apresentam resposta linear aos ambientes, o ajustamento de dois ou mais segmentos de reta poderia explicar melhor a resposta daqueles genótipos cujos desvios da regressão linear simples se mostram elevados. VERMA et alii definiram como genótipo ideal como aquele que apresenta produção média elevada associada a alta estabilidade em ambientes desfavoráveis e com capacidade para responder à melhoria das condições ambientais.

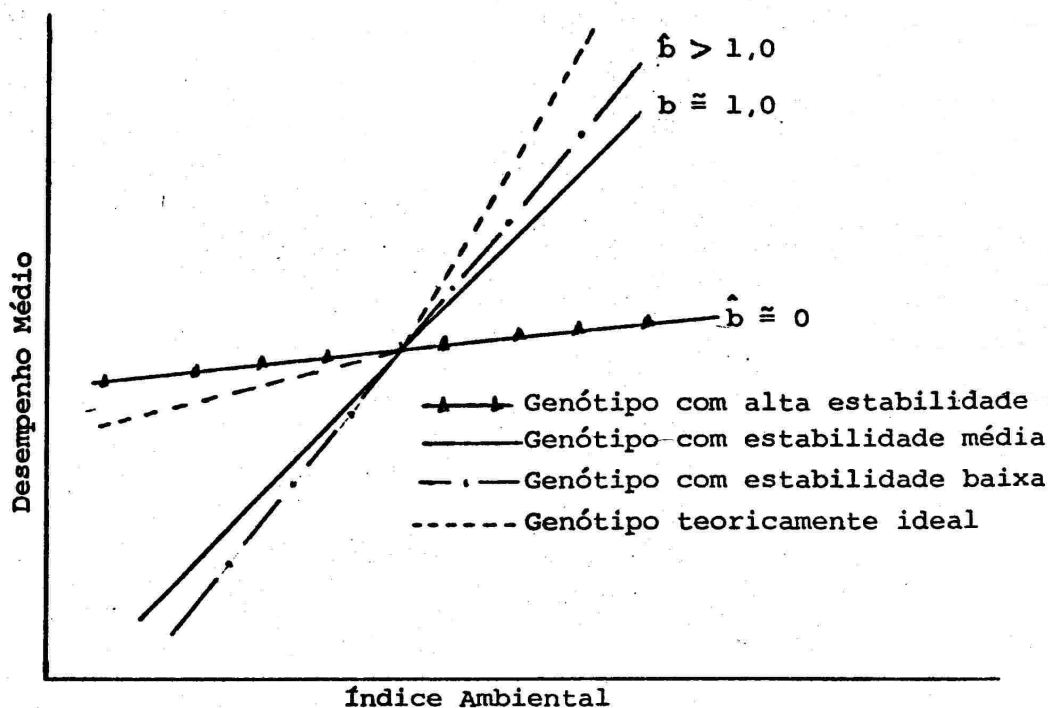


FIGURA 2 – Genótipo teoricamente ideal a três tipos de genótipos estimados pela análise convencional.

Para identificar esse genótipo os autores propuseram realizar análise utilizando duas equações de regressão. A primeira envolvendo os ambientes desfavoráveis (índices ambientais negativos) e a segunda para os ambientes favoráveis (índices ambientais positivos). Um grande inconveniente desse método surge quando temos um número reduzido de ambientes, de modo que a análise torna-se impraticável ou de pouca precisão.

O método de SILVA & BARRETO (1985) surgiu como uma alternativa para contornar o problema da técnica de VERMA et alii (1978). Este método tem os mesmos fundamentos conceituais daquele, mas o ajustamento é obtido por uma única equação de regressão constituída por dois segmentos de reta. Apesar dessa vantagem, a metodologia carecia ainda de um aprimoramento de natureza estatística para eliminar a correlação

residual que existia entre as estimativas de seus coeficientes de regressão (VENCOVSKY, 1988).

CRUZ et alii (1988) sugeriram uma modificação nessa metodologia de modo a proporcionar uma simplificação na obtenção das estimativas dos parâmetros de regressão e das somas de quadrados. Neste método, os parâmetros de regressão são:  $B_{0i}$  é a média geral do genótipo  $i$  em relação a todos os ambientes em que foi testado;  $B_{1i}$  mede a resposta linear do genótipo  $i$  nos ambientes desfavoráveis (com índices ambientais negativos) e  $B_{1i} + B_{2i}$  corresponde a resposta linear à variação nos ambientes favoráveis (índices ambientais positivos).

A opção de utilização de metodologia de EBERHART & RUSSEL (1966) ou da proposta por SILVA & BARRETO (1985), modificada por CRUZ et alii (1988) depende da rejeição ou não da hipótese  $H_0 : B_{2i} = 0$ , para todo  $i$ . A aceitação dessa hipótese indica que o comportamento do genótipo pode ser predito por uma reta, e conseqüentemente a primeira metodologia deve ser preferida.

O uso do conceito tipo 3 de estabilidade, baseado no desvio da regressão, é criticado por LIN et alii (1986). Segundo esses autores o desvio serve para indicar se os dados se ajustam ou não à equação de regressão linear e portanto não indicariam uma maior ou menor estabilidade do genótipo. A presença de desvio de regressão significativo ou de um coeficiente de determinação ( $R^2$ ) pequeno deve ser interpretada como um indicativo de que o modelo de regressão adotado não é o mais apropriado para o conjunto de dados testados e que outras alternativas devam ser investigadas. Apesar do conhecimento desses críticos, esses métodos, principalmente o de EBERHART & RUSSEL (1966) têm sido utilizados com freqüência, inclusive em espécies florestais (SILVA PIRES et alii, 1984; ST. CLAIR & KLEINSCHMIT, 1986; MORGENSTERN & TEICH, 1969).

Revisões sobre métodos de estabilidade incluindo comparações entre eles podem ser encontradas em MORGENSTERN & TEICH (1969), OLIVEIRA (1976), OWINO (1977), SANTOS (1980), BECKER (1981), JAYASEKERA (1983), KHALIL (1984), LIN et alii (1986) e DUARTE (1988). Entre eles destaca-se a análise realizada por BECKER (1981).

Nessa análise, o autor comparou os quatro parâmetros de estabilidade: Variância ( $S^2_x$ )  $i$ , ecovalência ( $S^2_{tp}$ )  $i$ , coeficiente de regressão ( $b$ )  $i$  e desvios da regressão ( $S^2_d$ )  $i$ , utilizando-se de dados de 5 culturas agrícolas. As correlações entre esses parâmetros de estabilidade levaram a 3 conclusões:

- a) O coeficiente de regressão é equivalente a variância como uma medida da estabilidade de acordo com o conceito biológico de genótipo estável (genótipo com produção constante sobre uma faixa de ambiente).
- b) O quadrado médio dos desvios da regressão é equivalente à ecovalência como medida da estabilidade de acordo com o conceito agrônomo de genótipo estável (genótipo com produtividade previsível para a qualidade do ambiente).
- c) O uso de diferentes conceitos de estabilidade poderá levar a diferentes classificações de genótipos, se dois parâmetros não correlacionados forem utilizados.

Os dois parâmetros estimados pela análise de regressão possibilitam uma boa compreensão da relação entre genótipo e ambiente. O desvio da regressão linear é um indicador da estabilidade de acordo com o conceito agrônomo de estabilidade e deverá ser tão pequeno quanto possível para um dado material genético. O coeficiente de regressão mede a resposta do genótipo baseado no conceito biológico de estabilidade. Seu valor irá variar com o interesse da situação particular em que se encontra o melhorista.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BARNES, R.D. et alii. Genotype-Environment interactions in tropical pines and their effects on the structure of breeding populations. **Silvae genetica**, Frankfurt, **33**(6): 186-98, 1984.
- BECKER, H.C. Correlation among some statistical measures of phenotypic stability. **Euphytica**, Wageningen, **30**: 835-40, 1981.
- CRUZ, C.D. et alii. Um modelo alternativo para a análise de estabilidade proposta por Silva & Barreto. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 26, Piracicaba, 1988.
- DUARTE, J.B. **Estudo da adaptabilidade e estabilidade fenotípica em linhagens e cultivares de feijão mulatinho (Phaseolus vulgaris L.)**. Goiânia, 1988. 150p. (Tese-Mestrado-UFGO).
- EBERHART, S.A. & RUSSEL, W.A. Stability parameters for comparing varieties. **Crop science**, Madison, 6: 36-40, 1966.
- FALKENHAGEN, E.R. Genotype by environment interactions in South African pine progeny trials: implications for tree breeding. **South African forestry journal**, Pretoria (135): 53-60, dez.1985.
- FINLAY, K.W. & WILKINSON, G.N. The analysis of adaptation in a plant breeding programme. **Australian journal of agricultura research**, Melbourne, 14: 742-54, 1963.
- JAYASEKERA, N.E.M. A basis for selecting **Hevea** clones stable to unpredictable agro-climatic variability. **Silvae genetica**, Frankfurt, **32**(5/6): 181-4, 1983.
- KHALIL, M.A.K. All-range black spruce provenance study in New-foundland: performance and genotypic stability of provenances. **Silvae genetica**, Frankfurt, **33**(2/3): 63-71, 1984.
- LIN, C.S. et alii. Stability analysis: where do we stand? **Crop. Science**, Madison, **26**(5): 894-9, 1986.
- MATHESON, A.C. & RAYMOND, C.A. The impact of genotype x environment interactions on Australian **Pinus radiata** breeding programmes. **Australian journal of forest research**, Melbourne, **14**: 11-25, 1984.
- MORGENSTERN, E.K. Interactions between genotype, site and silvicultural treatment. Information report PI-X, Chalk River (14): 1-18, 1982.
- MORGENSTERN, E.K. & TEICH, A.H. Phenotypic stability of height growth of jack pine provenances. **Canadian journal of genetic cytology**, Ottawa, 11: 110-7, 1969.

- OLIVEIRA, A.C. **Comparação de alguns métodos de determinação de estabilidade em plantas cultivadas**. Brasília, 1976. 64p. (Tese-Mestrado-UNB).
- OWINO, F. Genotype x environment interaction and genotypic stability in loblolly pine. **Silvae genetica**, Frankfurt, **26**(1): 21-26, 1977.
- PATIÑO-VALERA, F. **Variación genética em progênes de Eucalyptus saligna Smith e sua interação com o espaçamento**. Piracicaba, 1986. 192p. (Tese-Mestrado-ESALQ).
- PIRES, C.L. da S. et alii. Estabilidade fenotípica e comportamento de origens de **Pinus palustris** Mill. Em Itararé e Campos do Jordão-SP aos seis anos. **Boletim técnico. Instituto Florestal**. São Paulo (1): 1-12, 1984.
- RAMALHO, M.A.P. et alii. Interação dos genótipos por ambientes. In: RAMALHO, M.A.P. **Genética Quantitativa aplicada ao melhoramento do feijoeiro**. 1989. (no prelo).
- SANTOS, J.B. dos **Estabilidade fenotípica de cultivares de feijão (Phaseolus vulgaris L.) nas condições do sul de Minas Gerais**. Piracicaba, 1980. (no prelo).
- SHELBOURNE, C.J.A. Genotype-environment interaction its study and its implications in Forest tree improvement. In: IUFRO GENETICS SABRAO JOINT SYMPOSIUM, 1972. **Proceedings**. Tokyo, 1982.
- SHELBOURNE, C.J.A. & CAMPBELL, R.K. The impact of genotype environment interactions on tree improvement strategy. In: IUFRO JOINT MEETING ON ADVANCED GENERATION BREEDING, 1976. **Proceedings**. Bordeaux, 1976.
- SILVA, J.G. & BARRETO, J.N. Aplicação de regressão linear segmentada em estudos da interação genótipo x ambiente. In: SIMPÓSIO DE ESTATÍSTICA APLICADA À EXPERIMENTAÇÃO AGRONÔMICA, 1, 1985. **Anais**. Campinas, Fundação Cargill, 1985. p.49-50.
- SQUILACE, A.C. Field experimento n the inds and sizes of genotype-environment interaction. In: MEETING OF THE WORKING GROUP ON QUANTITATIVE GENETICS, 2, 1970. **Proceedings**. Raleigh, 1970. p.49-61.
- ST. CLAIR, J.B. & KLEINSCHMITH, J. Genotype-environment interaction and stability in ten year height growth of Norway spruce clones (**Picea abies** Karst). **Silvae genetica**, Frankfurt, **35** (5-6): 177-86, 1986.
- VENCOVSKY, R. Modelos estatísticos e implicações na estabilidade fenotípica. In: Programas Cooperativos na Área de Melhoramento Genético Florestal. IPEF/SIF/ESALQ/UFV. Piracicaba, 1988 (não publicado).
- VERMA, M.M. et alii Limitations of convencional regression analysis a proposed modification. **Theoretical applied genetics**, **3**: 89-91, 1978.

YATES, F. & COCHRAN, W.G. The analysis of groups of experiments. **Journal of agricultural science**, Cambridge, 28: 556-80, 1938.